

(19) Japanese Patent Office (JP)

(12) Laid-Open Disclosure Public Patent Bulletin (A)

(11) Publication Number: Japanese Patent Laid-Open No. 2001-44120

(43) Date of Publication: February 16, 2001

5	(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	Identification Number	FI	theme code (reference)
	H01L 21/20		H01L 21/20	5F052
	21/268		21/268	F
				G

Request of Examination: not made

10 The Number of Claims: 14 OL (9 pages in total)

(21) Application No.: H11-221021

(22) Date of filing: August 4, 1999

(71) Applicant: 000006013

Mitsubishi Electric Corporation

15 2-2-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo

(71) Applicant: 000002369

Seiko Epson Corporation

2-4-1, Nishi-Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo

(72) Inventor: Tetsuya Ogawa

20 c/o Mitsubishi Electric Corporation

2-2-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo

(74) Representative: 100102439

Patent attorney: Kaneo Miyata and two others

Continued to the Last Page

25

(54) Title of the Invention: Laser heat treatment method and laser heat treatment device

(57) [Abstract] (amended)

[Object]

30 Providing a laser heat treatment method for forming a film material over a substrate superior in crystallinity in order to realize a high-mobility thin film transistor.

[Solution]

A laser heat treatment method where the same portion of a film material 9 over a substrate is irradiated with each of first pulse laser light 3 and second pulse laser light 4, each having a different absorption coefficient with respect to the film material over 5 the substrate, by being converged in a linear shape.

[Scope of Claim]

[Claim 1]

A laser heat treatment method for performing heat treatment by absorbing laser light in a film material over a substrate, wherein a same portion of the film material over 10 the substrate is irradiated with each of a first pulse laser light and a second pulse laser light, each having a different absorption coefficient with respect to the film material over the substrate, by being converged in a linear shape.

[Claim 2]

A laser heat treatment method according to claim 1 characterized in that the 15 first pulse laser light is a pulse laser light in an ultraviolet region or a vacuum ultraviolet region, and the second pulse laser light is a pulse laser light in a visible region.

[Claim 3]

A laser heat treatment method according to claim 2 characterized in that the first pulse laser light is an excimer laser light or a fluorine laser light.

20 [Claim 4]

A laser heat treatment method according to claim 2 or 3 characterized in that the second pulse laser light is a harmonic of a Q-switch oscillation solid-state laser where an Nd ion-doped or Yb ion-doped crystal, or glass is used as an excitation medium.

25 [Claim 5]

A laser heat treatment method according to any one of claims 1 to 4 characterized in that a timing gap between irradiation of the first pulse laser light and irradiation of the second pulse laser light is 200 nsec or less.

[Claim 6]

30 A laser heat treatment method according to any one of claims 1 to 5

characterized in that an amorphous or polycrystalline silicon film is used as the film material over the substrate.

[Claim 7]

A laser heat treatment method according to claim 6 characterized in that an  
5 irradiation energy density of the first pulse laser in the surface of the amorphous or  
polycrystalline silicon film is  $1000 \text{ mJ/cm}^2$  or less and  $100 \text{ mJ/cm}^2$  or more.

[Claim 8]

A laser heat treatment method according to claim 6 or 7 characterized in that an  
irradiation energy density of the second pulse laser in the surface of the amorphous or  
10 polycrystalline silicon film is  $1500 \text{ mJ/cm}^2$  or less and  $100 \text{ mJ/cm}^2$  or more.

[Claim 9]

A laser heat treatment device, for performing heat treatment by shaping laser  
light from a laser light source into a linear-shape beam, irradiating a film material over a  
substrate therewith, and absorbing the laser light in the film material over the substrate,  
15 characterized by comprising a first pulse laser light source and a second pulse laser light  
source where first pulse laser light and second pulse laser light, each having a different  
absorption coefficient with respect to the film material over the substrate, are generated.

[Claim 10]

A laser heat treatment device according to claim 9 characterized in that the first  
20 pulse laser light source is a laser light source in an ultraviolet region or a vacuum  
ultraviolet region, and the second pulse laser light source is a pulse laser light source in  
a visible region.

[Claim 11]

A laser heat treatment device according to claim 10 characterized in that the  
25 first pulse laser light source is an excimer laser or a fluorine laser.

[Claim 12]

A laser heat treatment device according to claim 10 or 11 characterized in that  
the second pulse laser light source is a harmonic of a Q-switch oscillation solid-state  
laser where an Nd ion-doped or Yb ion-doped crystal, or glass is used as an excitation  
30 medium.

[Claim 13]

A laser heat treatment device according to any one of claims 9 to 12 characterized in that an optical axis of the first pulse laser light and an optical axis of the second pulse laser light, each with which the film material over the substrate is  
5 irradiated, are coincided with each other.

[Claim 14]

A laser heat treatment device according to any one of claims 9 to 12 characterized in that the optical axis of the first pulse laser light and the optical axis of the second pulse laser light, each with which the film material over the substrate is  
10 irradiated, are different.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field to which the Invention pertains]

15 The present invention relates to a laser heat treatment method for forming a polycrystalline silicon film superior in crystallinity in order to realize a high-mobility thin film transistor, and a laser heat treatment device.

[0002]

[Related Art]

20 At present, a pixel portion of a liquid crystal panel constitutes an image by a switching of a thin film transistor which is manufactured with an amorphous or polycrystalline silicon film over glass or a synthesized quartz substrate. If a driver circuit (mainly formed outside, independently) for driving the pixel transistor can be constituted at the same time over this panel, a significant advantage can be obtained in terms of manufacturing cost, reliability, or the like of the liquid crystal panel.  
25 However, at present, a silicon film which constitutes an active layer of a transistor has poor crystallinity; therefore, performance of a thin film transistor typified by mobility is low; thus, it is difficult to manufacture an integrated circuit where high speed and high performance are required. Generally, heat treatment by a laser is performed as a  
30 method for improving crystallinity of a silicon film, the object of which is to realize a

high-mobility thin film transistor.

[0003]

A relation between crystallinity of a silicon film and mobility of a thin film transistor will be explained as below. A silicon film obtained by laser heat treatment is generally polycrystalline. Crystal defects locally exist in a polycrystal crystal grain boundary, which obstructs carrier mobility of an active layer of a thin film transistor. Thus, in order to increase mobility of the thin film transistor, the number of times that a carrier traverses while moving in the active layer is preferably reduced and a crystal defect density is preferably diminished. It is an object of laser heat treatment to form a polycrystalline silicon film where there is a large crystal grain size and few crystal defects in a crystal grain boundary.

[0004]

FIG. 11 is a view showing an example of conventional laser heat treatment device. Herein, reference numeral 51 denotes an excimer laser (KrF (wavelength: 248 nm), XeCl (wavelength: 308 nm), or the like) which is a typical pulse laser light source of less than 350 nm for emitting ultraviolet light; 52, excimer laser light; 53, a beam homogenizer for making a beam intensity distribution uniform; 54, a convergence optical system for converging a beam; 55, an amorphous silicon film; and 56, glass or a quartz substrate.

[0005]

Next, a conventional laser heat treatment method will be explained. The amorphous silicon film 55 is irradiated thereover with the excimer laser light 52 emitted from the excimer laser 51 by the convergence optical system, through the beam homogenizer 53. The amorphous silicon film 55 in the irradiated region is melted by irradiation with the excimer laser light 52. Thereafter, the melted silicon is recrystallized as the temperature decreases, thereby forming a polycrystalline silicon film. However, an average crystal grain size of the polysilicon that is obtained by the heat treatment with excimer laser light is a few 100 nm, which is extremely small. This is because a pulse time width of an excimer laser generally has only a few 10 nsec; thus, the time until the silicon is recrystallized is short and a large grain size cannot be

grown.

[0006]

As an example of dependency against an energy density of laser light irradiation of mobility (n-channel) of a MOS transistor which is manufactured by using 5 the polycrystalline silicon film formed as described above as an active layer, one in Reference 1 (DIGEST OF TECHNICAL PAPERS AM-LCD 96, TFTp2-4, pp113-116(1996)) is described. This is an example where a KrF excimer laser is used as a laser light source 51, and an amorphous silicon film 55 has a thickness of 50 nm. Although the result obtained in accordance with an irradiation condition varies in some 10 extent, maximum mobility of  $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  can be obtained under irradiation intensity of  $260 \text{ mJ/cm}^2$ . However, dependency of the mobility against an irradiation energy density is high, and 80% or more of the maximum mobility can be obtained only within a range of  $\pm 5\text{mJ/cm}^2$ . Accordingly, in introducing the same method to a production 15 line, there is a problem that there is variation in characteristics of a manufactured transistor, unless a laser output and convergence of an optical system are controlled extremely properly. This is because, since absorptance of the excimer laser light in silicon is large, the melted state differs with slight variation in an irradiation energy density; thus, it is considered that a re-crystallization process is changed.

[0007]

20 In addition, in Japanese Published Patent Application No. H8-148423, it is described that an amorphous silicon film is melted and recrystallized by two laser light of first laser light and second laser light. However, here, it is described that either laser light having the same wavelength as the first laser light or laser light having a wavelength that is absorbed in a substrate is used so as to use the second laser light as 25 auxiliary heating. Moreover, it is suggested to use excimer laser light as the first laser light.

[0008]

**[Problems to be Solved by the Invention]**

With a conventional typical laser heat treatment method where an excimer laser 30 is used as a light source, since a pulse time width of laser light is short and a film is

absorbed much, a surface is heated; thus, crystal growth is not performed sufficiently in a horizontal direction. Even when the second laser light having the same wavelength is used as auxiliary heating, still, only a surface is heated and only a crystal having a small crystal grain size is obtained. Accordingly, there is a problem that mobility of a  
5 thin film transistor can be obtained only with a low value of  $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  at the maximum and approximately  $60 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  in general. Moreover, since dependency of the mobility against an irradiation energy density is extremely high, certain mobility cannot be obtained; thus, it is problematic that there is variation in characteristics of a manufactured transistor.

10 [0009]

It is an object of the present invention to provide a laser heat treatment method for forming a thin film superior in crystallinity which is necessary for manufacturing a high-performance thin film transistor, and a laser heat treatment device.

[0010]

15 It is a second object of the present invention to provide a laser heat treatment method which has high productivity and stability, and a laser heat treatment device.

[0011]

[Means for Solving the Problem]

According to a laser heat treatment method in claim 1 of the present invention,  
20 the same portion of a film material over a substrate is irradiated with each of first pulse laser light and second pulse laser light, each having a different absorption coefficient with respect to the film material over the substrate, by being converged in a linear shape.

[0012]

25 According to a laser heat treatment method in claim 2 of the present invention, the first pulse laser light is a pulse laser light in an ultraviolet region or a vacuum ultraviolet region, and the second pulse laser light is a pulse laser light in a visible region.

[0013]

30 According to a laser heat treatment method in claim 3 of the present invention,

the first pulse laser light is an excimer laser light or a fluorine laser light.

[0014]

According to a laser heat treatment method in claim 4 of the present invention, the second pulse laser light is a harmonic of a Q-switch oscillation solid-state laser 5 where an Nd ion-doped or Yb ion-doped crystal, or glass is used as an excitation medium.

[0015]

According to a laser heat treatment method in claim 5 of the present invention, a timing gap between irradiation of the first pulse laser light and irradiation of the 10 second pulse laser light is 200 nsec or less.

[0016]

According to a laser heat treatment method in claim 6 of the present invention, an amorphous or polycrystalline silicon film is used as the film material over the substrate.

15 [0017]

According to a laser heat treatment method in claim 7 of the present invention, an irradiation energy density of the first pulse laser in the surface of the amorphous or polycrystalline silicon film is 1500 [sic] mJ/cm<sup>2</sup> or less and 100 mJ/cm<sup>2</sup> or more.

[0018]

20 According to a laser heat treatment method in claim 8 of the present invention, an irradiation energy density of the second pulse laser in the surface of the amorphous or polycrystalline silicon film is 1000 [sic] mJ/cm<sup>2</sup> or less and 100 mJ/cm<sup>2</sup> or more.

[0019]

According to a laser heat treatment device in claim 9 of the present invention, 25 the device includes a first pulse laser light source and a second pulse laser light source where first pulse laser light and second pulse laser light, each having a different absorption coefficient with respect to the film material over the substrate, are generated.

[0020]

According to a laſer heat treatment device in claim 10 of the present invention, 30 the first pulse laser light source is a laser light source in an ultraviolet region or a

vacuum ultraviolet region, and the second pulse laser light source is a pulse laser light source in a visible region.

[0021]

According to a laser heat treatment device in claim 11 of the present invention,  
5 the first pulse laser light source is an excimer laser or a fluorine laser.

[0022]

According to a laser heat treatment device in claim 12 of the present invention,  
the second pulse laser light source is a harmonic of a Q-switch oscillation solid-state  
laser where an Nd ion-doped or Yb ion-doped crystal, or glass is used as an excitation  
10 medium.

[0023]

According to a laser heat treatment device in claim 13 of the present invention,  
an optical axis of the first pulse laser light and an optical axis of the second pulse laser  
light, each with which the film material over the substrate is irradiated, are coincided  
15 with each other.

[0024]

According to a laser heat treatment device in claim 14 of the present invention,  
the optical axis of the first pulse laser light and the optical axis of the second pulse laser  
light, each with which the film material over the substrate is irradiated, are different.

20 [0025]

[Embodiment Mode of the Invention]

Embodiment mode 1 FIG. 1 is a structural view of a laser heat treatment device of the present invention. Reference numeral 1 denotes a first pulse laser light source; 2, a second pulse laser light source; 3, first pulse laser light; 4, second pulse  
25 laser light; 5, an attenuator of the first pulse laser light; 6, an attenuator of the second pulse laser light; 7, an optical system of the first pulse laser light for molding a linear beam; 8, an optical system of the second pulse laser light for molding a linear beam; 9, an amorphous silicon film which is a film material over a substrate; and 10, a substrate. The substrate 10 is located on a translation stage, which enables laser heat treatment in a  
30 broad area.

[0026]

Next, a laser heat treatment method will be explained. After adjusting light intensity of the first pulse laser light 3 emitted from the first pulse laser light source 1 with the attenuator 5, the pulse laser light 3 is molded into a linear beam in the reference numeral 7 and the amorphous silicon film 9 is irradiated therewith. The second pulse laser light 4 is oscillated from the second pulse laser light source 2 at the same time as a pulse rising time of the first pulse laser light 3 or only after a specific time to adjust light intensity with the attenuator 6. Thereafter, the pulse laser light is molded into a linear beam in the reference numeral 8 and the amorphous silicon film 9 is irradiated therewith. At this time, as shown in FIG. 2, a width direction of a linear area, which is irradiated with the second pulse laser light, in the surface of the amorphous silicon film have to include a width direction of a linear area, which is irradiated with the first pulse laser light. In other words, in the surface of the amorphous silicon film, the width of the second pulse laser light needs to be wider than the width of the first pulse laser light.

15 [0027]

Here, if excimer laser light is used as the first laser light, and irradiation of the second pulse laser light whose absorption coefficient of the amorphous silicon film is lower than that of the excimer laser light and whose wavelength, which is absorbed in the amorphous silicon film, is performed simultaneously in terms of time or with a slight delay time provided, light energy in a recrystallization process is additionally compensated. Therefore, the recrystallization time can be prolonged and the crystal grain size can be increased. Specifically, as the first pulse laser light, laser light in an ultraviolet region or a vacuum ultraviolet region of an excimer laser such as KrF or XeCl, or a fluorine laser can be used because of a sufficiently high absorption coefficient with respect to silicon. In addition, as the second pulse laser light, pulse laser light in a visible region where an absorption coefficient thereof becomes lower than that of the first pulse laser light is appropriate. In other words, a harmonic of a Q-switch oscillation solid-state laser where an Nd ion-doped or Yb ion-doped crystal, or glass is used as an excitation medium such as an Nd:YAG laser, an Nd:YLF laser or a Yb:YAG laser, or an Nd: glass laser or a Yb: glass laser can be used.

[0028]

An example of actually using a KrF excimer laser as the first pulse laser light and a second harmonic of an Nd: YAG laser as the second pulse laser light will be explained. A pulse time width is a half value, which is 15 nsec of the KrF excimer  
5 laser and 60 nsec of the second harmonic of the Nd: YAG laser. The role of the first pulse laser light is to generate recrystallization by melting the amorphous silicon film. Therefore, an excimer laser that oscillates ultraviolet light having a high absorption coefficient with respect to silicon was selected. The second pulse laser light has a role of prolonging the recrystallization time. Thus, since the silicon film is melted at the  
10 time of irradiation, excessively strong light intensity is not necessary (when irradiation of light with strong intensity is performed, laser ablation occurs, thereby peeling the silicon film from the substrate). Rather, it is important for prolonging the recrystallization time that the pulse time width is long. Therefore, a second harmonic of an Nd: YAG laser where an absorption coefficient with respect to silicon is not too  
15 high and a pulse time width is long was selected.

[0029]

Note that, in this Embodiment Mode 1, the two laser light have a different optical axis as shown in FIG. 1. In other words, since irradiation of the two laser light may be performed from an arbitrary direction, the laser oscillator can be freely located;  
20 thus, a device design and the production becomes easy.

[0030]

**Embodiment Mode 2** In Embodiment Mode 2, timing of the irradiation of the first pulse laser light and the second pulse laser light will be described. The change over time of a temperature in a surface of the amorphous silicon film by the laser light  
25 irradiation was obtained by a simulation. As shown in FIG. 3, a single dimension model where heat, which is introduced into the amorphous silicon film by the laser light irradiation, is scattered in all direction to a substrate is considered as a computation model. Note that heat loss due to radiation from the surface is not taken into consideration. First, FIG. 4 shows a simulation result of the change over time of the  
30 surface temperature in a case of irradiation with KrF excimer laser light with an

irradiation energy density of 200 mJ/cm<sup>2</sup>. A horizontal axis (time) of the figure denotes time after the rising of a pulse, whereas a vertical axis (temperature) denotes the surface temperature. A surface melt time which is almost the same as the recrystallization time is approximately 80 nsec. Next, simulation results in a case of emitting the second harmonic of the Nd: YAG laser whose irradiation energy density is 300 mJ/cm<sup>2</sup> to overlap with delay times of 0 nsec, 50 nsec, and 100 nsec are each shown in FIGS. 5 (a), (b), and (c). According to these results, it is predicted that there is no advantageous effect of the recrystallization time delay by overlapping irradiation of the second laser light with 10 nsec or more. However, as a result of actually conducting an experiment, it is confirmed that there is an advantageous effect of overlapping up to the delay time of 200 nsec, according to observation of an average crystal grain size of a polycrystalline silicon film that is formed with the use of a microscope. Thus, the delay time within 200 nsec, preferably within 100 nsec is appropriate.

15 [0031]

Embodiment Mode 3 In Embodiment Mode 3, an average crystal grain size of a polycrystalline silicon film formed of an amorphous silicon film according to a laser heat treatment method of the present invention will be described. A KrF excimer laser was used as the first laser, and a second harmonic of an Nd: YAG laser is used as the second laser. FIG. 6 shows a result of irradiation with a second harmonic of the Nd: YAG laser with a delay time of 25 nsec by fixing the irradiation energy density of the KrF excimer laser to 200 mJ/cm<sup>2</sup>. In the figure, a horizontal axis denotes an irradiation energy density (YAG 2ωenergy density) of the second harmonic of the Nd: YAG laser, whereas a vertical axis denotes an average crystal grain size. The average crystal grain size of a polycrystalline silicon film that is formed by heat treatment only with the KrF excimer laser was ~ 100 nm. However, an average crystal grain size of a polycrystalline silicon film that is obtained by overlapping the second harmonic of the Nd: YAG laser to have irradiation was approximately 1.2 μm at most. Since movement of carriers in an active layer of a MOS transistor is obstructed due to a defect 20 in each crystal grain boundary, it is essential to increase a crystal grain size in order to

improve the mobility of a MOS transistor. Accordingly, increase in a crystal grain size according to a laser heat treatment method of the present invention was proved.

[0032]

Embodiment Mode 4 In Embodiment Mode 4, a MOS transistor manufactured using a polycrystalline silicon film formed of an amorphous silicon film by a laser heat treatment method of the present invention will be described. As for an evaluation of characteristics, mobility which is a typical parameter of the MOS transistor is used. A KrF excimer laser was used as the first pulse laser light source, whereas a second harmonic ( $2\omega$ ) of an Nd: YAG laser was used as the second pulse laser light source. First, FIG. 7 shows dependency of an irradiation energy density (fluence) of n-channel mobility of a MOS transistor manufactured using a polycrystalline silicon film, for comparison, which is formed by performing heat treatment only with a KrF excimer laser. As apparent from the figure, there is only mobility of approximately  $60 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  at most. Next, a second harmonic ( $2\omega$ ) of an Nd: YAG laser having various irradiation energy densities were overlapped to have irradiation by fixing the irradiation energy density of the KrF excimer laser to  $240 \text{ mJ/cm}^2$ . At this time, three types of delay time, 25 nsec, 50 nsec, and 100 nsec, were provided. The delay times of the n-channel mobility of the MOS transistor manufactured using the polycrystalline silicon film thus formed are each shown in FIGS. 8 (a), (b), and (c). According to these experiment results of the present invention, heat treatment only with a KrF excimer laser having an irradiation energy density of  $240 \text{ mJ/cm}^2$  has a mobility of approximately  $30 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ; however, it was found that a mobility of approximately  $120 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , which is a value four times as much as the heat treatment only with the KrF excimer laser, is obtained by overlapping the second harmonic of the Nd: YAG laser to have irradiation.

[0033]

Embodiment Mode 5 In Embodiment Mode 5, dependency of an irradiation energy density of a KrF excimer laser with respect to n-channel mobility of a MOS transistor, in a case of using a KrF excimer laser as the first pulse laser light source and using a second harmonic of an Nd: YAG laser as the second pulse laser light

source will be described. FIG. 9 shows an experiment value indicating a relation of mobility with respect to an irradiation energy density of the excimer laser, in a case where the single KrF excimer laser (a line denoted by EXL in the figure) and a case where a KrF excimer laser is used as the first laser and a second harmonic of an Nd: YAG laser is used as the second laser (a line denoted by EXL+YAG 2 $\omega$  in the figure). As apparent from the figure, when the excimer laser and the Nd: YAG laser are used, mobility higher than that obtained by the single excimer laser can be obtained. Additionally, when the excimer laser and the Nd: YAG laser are used, dependency of the irradiation energy density of the excimer laser is extremely low, compared with a narrow range of the irradiation energy density of the excimer laser that can obtain high mobility in the case of the single excimer laser. In other words, when the excimer laser and the Nd: YAG laser are used, there is few adverse effect due to the output variation of the excimer laser.

[0034]

15                  Embodiment mode 6      In Embodiment Mode 6, an irradiation energy density of the first pulse laser light will be described. As for the first pulse laser light, ability to make an amorphous silicon film a state capable of recrystallizing after melted is required, and a pulse laser in a vacuum ultraviolet region or an ultraviolet region is appropriate through an absorption coefficient relation. The longer a wavelength becomes, the lower an absorption coefficient becomes. However, when a laser heat treatment experiment is conducted with a XeCl excimer laser which is a laser having a comparatively long wavelength in an ultraviolet region, ablation occurs and a film is peeled from a substrate with an irradiation energy density of 1000 mJ/cm<sup>2</sup> or more. In addition, a lower limit of the irradiation energy density can be defined as 100 mJ/cm<sup>2</sup> according to a laser heat treatment experiment using a KrF excimer laser which is a typical laser in an ultraviolet region having a high absorption coefficient.

[0035]

                Embodiment Mode 7      In Embodiment Mode 7, an irradiation energy density of the second pulse laser light will be described. A liquid state where an amorphous silicon film is melted by the first laser light irradiation is irradiated with the

second pulse laser light. The delay of the recrystallization time is a role thereof. It is 100 mJ/cm<sup>2</sup> or more that the delay of the recrystallization time has an advantageous effect. In addition, an irradiation energy density needs to be one where ablation does not occur. When a second harmonic of an Nd: YAG laser which is typical as the 5 second pulse laser light is used, ablation occurred with 1500 mJ/cm<sup>2</sup> or more. Therefore, the irradiation energy density of the second pulse laser light is appropriately 1500 mJ/cm<sup>2</sup> or less and 100 mJ/cm<sup>2</sup> or more.

[0036]

Embodiment Mode 8 In Embodiment Mode 8, another method for 10 performing irradiation with two laser light in the laser heat treatment method of the present invention will be described. FIG. 10 is a view showing a laser heat treatment device that realizes the laser heat treatment method according to Embodiment Mode 8. In the figure, reference numerals 1 to 10 denote the same members as those in FIG. 1. Reference numeral 11 denotes a dichroic mirror or a polarization beam splitter, which 15 transmits the first pulse laser light and reflects the second pulse laser light, so that optical axes of the first pulse laser light and the second pulse laser light, each with which a film material over a substrate is irradiated, are coincided with each other. In other words, a characteristic of this Embodiment Mode 8 is that the optical axes of the two laser light each with which a film material over a substrate is irradiated, is the same. 20 Since the two laser light are overlapped in advance with the dichroic mirror or polarization beam splitter 11, adjustment of the optical axes at a target position becomes unnecessary; thus, laser heat treatment can be performed easily.

[0037]

[Effect of the Invention]

As described above, according to a laser heat treatment method and a laser heat 25 treatment device of the present invention, where heat treatment is performed by absorbing laser light in a film material over a substrate in the laser heat treatment method, the same portion of the film material over the substrate is irradiated with each of first pulse laser light and second pulse laser light, each having a different absorption 30 coefficient with respect to the film material over the substrate, by being converged in a

linear shape. Therefore, there is an advantageous effect that a high-quality thin film which is appropriate to manufacture a thin film transistor having a large crystal grain size and high mobility can be obtained.

[0038]

5 In addition, in a laser heat treatment method and a laser heat treatment device of the present invention, the first pulse laser light is considered as pulse laser light in an ultraviolet region or a vacuum ultraviolet region, and the second pulse laser light is considered as pulse laser light in a visible region; therefore, there is an advantageous effect that a high-quality thin film which is appropriate to manufacture a thin film transistor having a certainly large crystal grain size and high mobility can be obtained.  
10

[0039]

Moreover, a laser heat treatment method and a laser heat treatment device of the present invention, in which an excimer laser (ArF, KrF, or XeCl) or a fluorine laser is used as the first laser light, has an advantageous effect that stable laser treatment with  
15 high productivity can be performed.

[0040]

Further, a laser heat treatment method and a laser heat treatment device of the present invention, in which a harmonic of a Q-switch oscillation solid-state laser where an Nd ion-doped or Yb ion-doped crystal, or glass is used as an excitation medium is  
20 used, has an advantageous effect that effective laser heat treatment can be performed.

[0041]

Still further, a laser heat treatment method of the present invention, in which a timing gap between irradiation of the first pulse laser light and irradiation of the second pulse laser light is 200 nsec or less, has an advantageous effect that a high-quality thin  
25 film which is appropriate to manufacture a thin film transistor having a certainly large crystal grain size and high mobility can be obtained.

[0042]

Furthermore, a laser heat treatment method of the present invention, in which an amorphous or polycrystalline silicon film is used as the film over the substrate, can  
30 manufacture a high-mobility thin film transistor.

[0043]

Furthermore, a laser heat treatment method of the present invention, in which an irradiation energy density of the first laser light in a surface of an amorphous or polycrystalline silicon film is  $1000\text{ mJ/cm}^2$  or less and  $100\text{ mJ/cm}^2$  or more, can  
5 perform high-quality heat treatment.

[0044]

Furthermore, a laser heat treatment method of the present invention, in which an irradiation energy density of the second laser light in a surface of an amorphous or polycrystalline silicon film is  $1500\text{ mJ/cm}^2$  or less and  $100\text{ mJ/cm}^2$  or more, can form a  
10 thin film superior in crystallinity.

[0045]

Furthermore, a laser heat treatment device of the present invention, in which optical axes of the first pulse laser light and the second pulse laser light at the time of laser light irradiation are coincided with each other to have irradiation, have an  
15 advantageous effect that adjustment of the optical axes at a target position becomes unnecessary.

[0046]

Furthermore, a laser heat treatment device of the present invention, in which the first laser light and the second laser light at the time of laser light irradiation have a  
20 different optical axis, that is, since irradiation of the two laser light may be performed from an arbitrary direction, the laser oscillator can be freely located; thus, a device design and the production become easy.

#### [Brief Description of the Drawings]

FIG.1 is an outline view showing a laser heat treatment device describing  
25 Embodiment Mode 1 of the present invention.

FIG.2 is a view expressing a relative position of an irradiation area by two laser light according to Embodiment Mode 2 of the present invention.

FIG. 3 is a view explaining a computation model of a heat conductive simulation at the time of laser light irradiation for explaining Embodiment Mode 2 of  
30 the present invention.

FIG.4 is a graph showing a simulation result of change over time of a temperature in a surface of a silicon film by KrF excimer laser irradiation for explaining Embodiment Mode 2 of the present invention.

FIGS.5 are graphs each showing a simulation of change over time of a 5 temperature in a surface of a silicon film in a case of irradiation of a second harmonic of an Nd: YAG laser at the same time as KrF laser excimer laser irradiation, after 50 nsec, or after 100 nsec for explaining Embodiment Mode 2 of the present invention.

FIG.6 is a graph showing an average grain size of a polycrystalline silicon film obtained by a laser heat treatment method for explaining Embodiment Mode 3 of the 10 present invention.

FIG.7 is a graph showing n-channel mobility of a MOS transistor manufactured using a polycrystalline silicon film that is obtained by laser heat treatment only with a laser heat treatment method for explaining Embodiment Mode 4 of the present invention.

FIGS.8 are graphs each showing n-channel mobility of a MOS transistor 15 manufactured using a polycrystalline silicon film that is obtained by setting delay times at 25 nsec, 50 nsec, and 100 nsec in a laser heat treatment method for explaining Embodiment Mode 4 of the present invention.

FIG. 9 is a graph explaining dependency of an irradiation energy density of a 20 KrF excimer laser for explaining Embodiment Mode 5 of the present invention.

FIG.10 is an outline view showing a laser heat treatment device describing Embodiment Mode 8 of the present invention.

FIG.11 is an outline view showing a conventional laser heat treatment device.

[Description of the Numerals]

25 1. first pulse laser light source, 2. second pulse laser light source, 3. first pulse laser light, 4. second pulse laser light, and 9. film material over a substrate.

Continued from the front page

(72) Inventor: Hidetada Tokioka

30 c/o Mitsubishi Electric Corporation

2-2-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo

(72) Inventor: Yukio Sato

c/o Mitsubishi Electric Corporation

2-2-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo

5 (72) Inventor: Mitsuo Inoue

c/o Mitsubishi Electric Corporation

2-2-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo

(72) Inventor: Tomohiro Sasagawa

c/o Mitsubishi Electric Corporation

10 2-2-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo

(72) Inventor: Mitsutoshi Miyasaka

c/o Seiko Epson Corporation

3-3-5, Yamato, Suwa-shi, Nagano-ken

F Term (reference) 5F052 AA02 BA07 BA11 BA15 BB02

15 BB03 BB07 DA01 DA02 JA01

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-44120

(P2001-44120A)

(43)公開日 平成13年2月16日 (2001.2.16)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 L 21/20  
21/268

識別記号

F I

H 0 1 L 21/20  
21/268

テーマコト<sup>7</sup> (参考)

5 F 0 5 2  
F  
G

審査請求 未請求 請求項の数14 O.L (全 9 頁)

(21)出願番号

特願平11-221021

(22)出願日

平成11年8月4日 (1999.8.4)

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(71)出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72)発明者 小川 哲也

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(74)代理人 100102439

弁理士 宮田 金雄 (外2名)

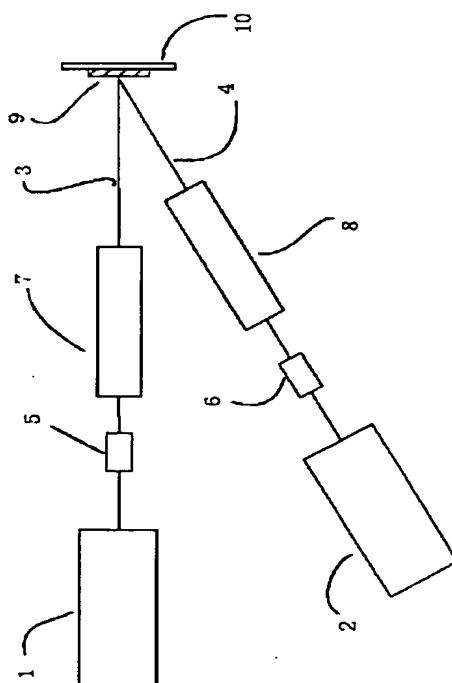
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザ熱処理方法およびレーザ熱処理装置

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 高移動度の薄膜トランジスタを実現するためには、結晶性に優れた基板上膜材料を形成するレーザ熱処理方法を提供する。

【解決手段】 基板上膜材料9に対する吸収係数が異なる、第1のパルスレーザ光3と第2のパルスレーザ光4をそれぞれ上記基板上膜材料の同一部分に線状に集光して照射するレーザ熱処理方法。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上膜材料にレーザ光を吸収させて熱処理するレーザ熱処理方法において、上記基板上膜材料に対する吸収係数が異なる、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光をそれぞれ上記基板上膜材料の同一部分に線状に集光して照射するレーザ熱処理方法。

【請求項 2】 上記第1のパルスレーザ光は、紫外域、あるいは真空紫外域のパルスレーザ光であり、上記第2のパルスレーザ光は可視域のパルスレーザ光であることを特徴とする請求項1記載のレーザ熱処理方法。

【請求項 3】 上記第1のパルスレーザ光は、エキシマレーザ光またはフッ素レーザ光であることを特徴とする請求項2記載のレーザ熱処理方法。

【請求項 4】 上記第2のパルスレーザ光は、NdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒質としたQスイッチ発振固体レーザの高調波であることを特徴とする請求項2または3記載のレーザ熱処理方法。

【請求項 5】 上記第1のパルスレーザ光の照射と、上記第2のパルスレーザ光の照射とのタイミングのずれが200nsec以下であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載のレーザ熱処理方法。

【請求項 6】 上記基板上膜材料として、非晶質または多結晶珪素膜を用いることを特徴とする請求項1乃至5のいずれかに記載のレーザ熱処理方法。

【請求項 7】 上記非晶質または多結晶珪素膜の表面における第1のパルスレーザの照射エネルギー密度が1000mJ/cm<sup>2</sup>以下100mJ/cm<sup>2</sup>以上であることを特徴とする請求項6記載のレーザ熱処理方法。

【請求項 8】 上記非晶質または多結晶珪素膜の表面における第2のパルスレーザ光の照射エネルギー密度が1500mJ/cm<sup>2</sup>以下100mJ/cm<sup>2</sup>以上であることを特徴とする請求項6または7記載のレーザ熱処理方法。

【請求項 9】 レーザ光源からのレーザ光を線状ビームに成形して基板上膜材料に照射してこの基板上膜材料に上記レーザ光を吸収させて熱処理するレーザ熱処理装置において、上記基板上膜材料に対する吸収係数が異なる第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光を発生する、第1のパルスレーザ光源と第2のパルスレーザ光源を備えたことを特徴とするレーザ熱処理装置。

【請求項 10】 上記第1のパルスレーザ光源は、紫外域、あるいは真空紫外域のレーザ光源であり、上記第2のパルスレーザ光源は可視域のパルスレーザ光源であることを特徴とする請求項9記載のレーザ熱処理装置。

【請求項 11】 上記第1のパルスレーザ光源は、エキシマレーザ光またはフッ素レーザであることを特徴とする請求項10記載のレーザ熱処理装置。

【請求項 12】 上記第2のパルスレーザ光源は、NdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒質としたQスイッチ発振固体レーザの高調波

であることを特徴とする請求項10または11記載のレーザ熱処理装置。

【請求項 13】 上記基板上膜材料に照射される上記第1のパルスレーザ光の光軸と、上記第2のパルスレーザ光の光軸とが一致していることを特徴とする請求項9乃至12のいずれかに記載のレーザ熱処理装置。

【請求項 14】 上記基板上膜材料に照射される上記第1のパルスレーザ光の光軸と、上記第2のパルスレーザ光の光軸とが異なることを特徴とする請求項9乃至12のいずれかに記載のレーザ熱処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

### 【0001】

【発明の属する技術分野】 高移動度の薄膜トランジスタを実現するために、結晶性に優れた多結晶珪素膜を形成するレーザ熱処理方法およびレーザ熱処理装置に関する。

### 【0002】

【従来の技術】 現在、液晶パネルの画素部は、ガラスまたは合成石英基板上の非晶質または多結晶珪素膜で作製された薄膜トランジスタのスイッチングにより、画像を構成している。もし、このパネル上に画素トランジスタを駆動するドライバ回路（主として外部に独立して設置してある）を同時に構成することが可能となれば、液晶パネルの製造コスト・信頼性等の面で飛躍的なメリットが生じることになる。しかし現在は、トランジスタ能動層を構成する珪素膜の結晶性が悪いため、移動度に代表される薄膜トランジスタの性能が低く、高速性・高機能性が要求される集積回路の作製は困難である。高移動度薄膜トランジスタ実現を目的とする、珪素膜結晶性改善手法として、一般的にレーザによる熱処理が行われている。

【0003】 硅素膜の結晶性と薄膜トランジスタの移動度の関係は以下のように説明される。レーザ熱処理により得られる硅素膜は一般に多結晶である。多結晶の結晶粒界には結晶欠陥が局在しており、これが薄膜トランジスタ能動層のキャリア移動を阻害する。従って、薄膜トランジスタの移動度を高くするには、キャリアが能動層を移動中に結晶粒界を横切る回数を少なくし、かつ結晶欠陥密度を小さくすれば良い。レーザ熱処理の目的は、結晶粒径が大きくかつ結晶粒界における結晶欠陥が少ない多結晶硅素膜の形成である。

【0004】 図11は従来のレーザ熱処理装置の一例を示す図である。ここにおいて、51は熱処理用レーザとして一般的に使われている紫外光を発する350nm未満の代表的なパルスレーザ光源であるエキシマレーザ（KrF（波長：248nm）、XeCl（波長：308nm）等）、52はエキシマレーザ光、53はビーム強度分布を均一にするためのビームホモジナイザ、54はビームを集光するための集光光学系、55は非晶質珪素膜、56はガラスまたは石英基板である。

【0005】次に従来のレーザ熱処理手法について説明する。エキシマレーザ51から出射されたエキシマレーザ光52がビームホモジナイザ53を経て集光光学系54により非晶質珪素膜55上に照射される。エキシマレーザ光52の照射により照射領域における非晶質珪素55が溶融される。その後温度が低下するに従って溶融した珪素が再結晶化して、多結晶珪素膜を形成する。しかし、エキシマレーザ光による熱処理で得られたポリシリコンの平均結晶粒径は数100nmと非常に小さい。これは、エキシマレーザの時間パルス幅が一般的に数10nsecしかないと、再結晶時間が短く、大きな結晶粒が成長できないからである。

【0006】以上のように形成された多結晶珪素膜を能動層として作製されたMOSトランジスタの移動度（nチャネル）のレーザ光照射エネルギー密度に対する依存性の例として、文献1（DIGEST OF TECHNICAL PAPERS AM-LCD 96, TFTp2-4 pp113-116(1996)）にあるものを示す。レーザ光源51としてKrFエキシマレーザを用いており、非晶質珪素膜55の厚みは50nmの例である。照射条件により得られる結果は少し変化するが、例えば照射強度260 mJ/cm<sup>2</sup>で最高移動度100cm<sup>2</sup>/Vsが得られている。しかし、照射エネルギー密度に対する移動度の依存性が大きく、±5mJ/cm<sup>2</sup>の範囲内でしか最高移動度の8割以上の移動度が得られず、同手法を生産ラインに導入する際、レーザ出力、および光学系の集光性を極めて厳密に制御しないと製作されたトランジスタの特性がばらつくという問題がある。これは、珪素におけるエキシマレーザ光の吸収率が大きいために、わずかな照射エネルギー密度の変化により溶融状態が異なり、再結晶過程が変化するためと考えられる。

【0007】また、特開平8-148423号公報には非晶質珪素膜を、第1のレーザ光と第2のレーザ光の、2つのレーザ光により溶融再結晶化させるものが記述されているが、ここでは、第2のレーザ光は補助加熱に用いるべく、第1のレーザ光と同一波長のレーザ光か、基板で吸収する波長のレーザ光を用いることが記述されている。また、第1のレーザ光としてはエキシマレーザ光を用いることが示唆されている。

#### 【0008】

【発明が解決しようとする課題】エキシマレーザを光源とした、従来の代表的なレーザ熱処理方法では、レーザ光のパルス時間幅が短いために、また膜での吸収が大きいため表面での加熱となり、横方向への結晶成長が十分行われず、たとえ同一波長の第2のレーザ光を補助加熱として用いても、やはり表面だけの加熱となり、結晶粒径が小さいものしか得られず、薄膜トランジスタの移動度が最大でも100 cm<sup>2</sup>/Vs、通常では60cm<sup>2</sup>/Vs程度と低い値しか得られないことが問題であった。また、照射エネルギー密度に対する移動度の依存性が極めて大きいために一定の移動度が得られず、作製されたトランジスタの

特性にばらつきがあることが問題であった。

【0009】本発明の目的は、高性能の薄膜トランジスタを作製するのに必要な結晶性に優れた薄膜を形成するレーザ熱処理方法およびレーザ熱処理装置を提供することである。

【0010】また、生産性の高い、安定なレーザ熱処理方法およびレーザ熱処理装置を提供することを第2の目的とする。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】本発明に係る請求項1のレーザ熱処理方法は、基板上膜材料に対する吸収係数が異なる、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光をそれぞれ、上記基板上膜材料の同一部分に線状に集光して照射するものである。

【0012】本発明に係る請求項2のレーザ熱処理方法は、上記第1のパルスレーザ光を、紫外域、あるいは真空紫外域のパルスレーザ光とし、上記第2のパルスレーザ光は可視域のパルスレーザ光としたものである。

【0013】本発明に係る請求項3のレーザ熱処理方法は、第1のパルスレーザ光として、エキシマレーザ光またはフッ素レーザ光を用いるものである。

【0014】本発明に係る請求項4のレーザ熱処理方法は、第2のパルスレーザ光として、NdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒質としたQスイッチ発振固体レーザの高調波を用いるものである。

【0015】本発明に係る請求項5のレーザ熱処理方法は、第1のレーザ光の照射と第2のレーザ光の照射とのタイミングのずれを200nsec以下としたものである。

【0016】本発明に係る請求項6のレーザ熱処理方法は、基板上膜材料として、非晶質または多結晶珪素膜を用いるものである。

【0017】本発明に係る請求項7のレーザ熱処理方法は、非晶質または多結晶珪素膜の表面における第1のレーザ光の照射エネルギー密度が1500mJ/cm<sup>2</sup>以下100mJ/cm<sup>2</sup>以上としたものである。

【0018】本発明に係る請求項8のレーザ熱処理方法は、非晶質または多結晶珪素膜の表面における第2のレーザ光の照射エネルギー密度が1000mJ/cm<sup>2</sup>以下100mJ/cm<sup>2</sup>以上としたものである。

【0019】本発明に係る請求項9のレーザ熱処理装置は、基板上膜材料に対する吸収係数が異なる第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光を発生する、第1のパルスレーザ光源と第2のパルスレーザ光源を備えたものである。

【0020】本発明に係る請求項10のレーザ熱処理装置は、第1のパルスレーザ光源を、紫外域、あるいは真空紫外域のレーザ光源とし、第2のパルスレーザ光源は可視域のパルスレーザ光源としたものである。

【0021】本発明に係る請求項11のレーザ熱処理装

置は、第1のパルスレーザ光源を、エキシマレーザまたはフッ素レーザとしたものである。

【0022】本発明に係る請求項12のレーザ熱処理装置は、第2のパルスレーザ光源を、NdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒質としたQスイッチ発振固体レーザの高調波としたものである。

【0023】本発明に係る請求項13のレーザ熱処理装置は、基板上膜材料に照射される第1のレーザ光の光軸と第2のレーザ光の光軸が一致しているものである。

【0024】本発明に係る請求項14のレーザ熱処理装置は、基板上膜材料に照射される第1のレーザ光の光軸と第2のレーザ光の光軸が異なるものである。

【0025】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 図1は本発明のレーザ熱処理装置の構成図である。1は第1のパルスレーザ光源、2は第2のパルスレーザ光源、3は第1のパルスレーザ光、4は第2のパルスレーザ光、5は第1のパルスレーザ光のアッテネータ、6は第2のパルスレーザ光のアッテネータ、7は第1のパルスレーザ光の線状ビーム成形光学系、8は第2のパルスレーザ光の線状ビーム成形光学系、9は基板上膜材料である非晶質珪素膜、10は基板である。基板10は移動ステージに設置しており、広い面積にわたるレーザ熱処理が可能となっている。

【0026】次に、レーザ熱処理方法について説明する。第1のパルスレーザ光源1より出射した第1のパルスレーザ光3はアッテネータ5で光強度調整された後、7において線状ビームに成形され、非晶質珪素膜9に照射される。第2のパルスレーザ光4は、第1のパルスレーザ光3のパルス立ち上がり時刻に対して同時もしくはある特定の時間だけ後にずらして、第2のパルスレーザ光源2から発振され、アッテネータ6で光強度調整された後、8において線状ビームに成形され、非晶質珪素膜9に照射される。この際、図2に示すように、非晶質珪素膜表面において、第2のパルスレーザ光によって照射される線状エリアの幅方向は、第1のパルスレーザ光によって照射された線状エリアの幅方向を完全に包含しないなければならない。すなわち、非晶質珪素膜表面において、第2のパルスレーザ光の幅は第1のパルスレーザ光の幅よりも広くなければならない。

【0027】ここで、第1のレーザ光としてエキシマレーザ光を用い、エキシマレーザより非晶質珪素膜の吸収係数が小さく、しかも非晶質珪素膜で吸収する波長の第2のパルスレーザ光を時間的に同時もしくは若干の遅延時間を設定して照射してやれば、再結晶化過程において光エネルギーを追加補償することになるため、再結晶化時間を延長でき、結晶粒径を大きくすることが可能となる。具体的には、第1のパルスレーザ光としてKrFやXeC1等のエキシマレーザ、あるいはフッ素レーザといつ

た、紫外域あるいは真空紫外域のレーザ光であれば珪素に対する吸収係数が十分高いので、これらのレーザ光を用いることができる。また、第2のパルスレーザ光としては、第1のパルスレーザ光よりも吸収率が小さくなる可視域のパルスレーザ光が適している。すなわち、Nd:YAGレーザ、Nd:YLFレーザやYb:YAGレーザ、あるいはNd:ガラスレーザやYb:ガラスレーザといったNdイオンドープあるいはYbイオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒質としたQスイッチ発振の固体レーザの高調波を用いることができる。

【0028】実際に第1のパルスレーザ光としてKrFエキシマレーザ、第2のパルスレーザ光としてNd:YAGレーザの第2高調波を用いて行った例について説明する。時間パルス幅は半値でKrFエキシマレーザが15nsec、Nd:YAGレーザの第2高調波が60nsecである。第1のパルスレーザ光の役割は非晶質珪素膜を溶融して再結晶化を起こさせることである。そのため、珪素に対する吸収係数が高い紫外光を発振するエキシマレーザを選択した。第2のパルスレーザ光の役割は再結晶時間の延長である。よって、照射時に珪素膜は溶融しているため、あまり強い光強度は必要ない（強度の強い光を照射するとレーザアブレーションが起こり、珪素膜が基板から剥離してしまう）。むしろ、再結晶時間の延長には時間パルス幅が長いことの方が重要である。従って、珪素に対する吸収係数があまり高くなく、時間パルス幅が長い、Nd:YAGレーザの第2高調波を選択した。

【0029】なお、本実施の形態1では、図1に示すように、2つのレーザ光の光軸が異なっている。すなわち、2つのレーザ光を任意の方向より照射してよいため、レーザ発振器の設置位置を自由にでき、装置設計及び生産が容易になる。

【0030】実施の形態2. 実施の形態2では、第1のパルスレーザ光の照射と第2のパルスレーザ光の照射のタイミングについて述べる。レーザ光照射による非晶質珪素膜の表面温度の経時変化をシミュレーションにより求めた。計算モデルとしては、図3に示すように、レーザ光照射により非晶質珪素膜中に導入された熱が基板へと散逸していく1次元モデルを考える。なお、表面からの放射による熱損失は考慮していない。先ず図4に照射エネルギー密度200mJ/cm<sup>2</sup>のKrFエキシマレーザ光を照射した場合の表面温度の経時変化のシミュレーション結果を示す。図の横軸（Time）はパルス立ち上がりからの時間、縦軸（Temperature）は表面温度を示す。再結晶化時間とほぼ同等である表面溶融時間は80nsec程度である。次に、照射エネルギー密度300mJ/cm<sup>2</sup>のNd:YAGレーザの第2高調波を遅延時間0nsec、50nsec、100nsecで重畠照射した場合のシミュレーション結果を各々図5

(a)、(b)、(c)に示す。これらの結果から、100nsec以上では、第2のレーザ光の重畠照射による再結晶化時間延長の効果はないことが予想される。しかし、

実際に実験を行った結果、遅延時間200nsecまでは重畠の効果があることが、形成された多結晶珪素膜の平均結晶粒径の顕微鏡による観察から確認できた。従って、遅延時間は200nsec以内、好ましくは100nsec以内が適当である。

【0031】実施の形態3. 実施の形態3では、本発明のレーザ熱処理方法により、非晶質珪素膜から形成した多結晶珪素膜の平均結晶粒径について述べる。第1のレーザとしてはKrFエキシマレーザを、第2のレーザとしてはNd:YAGレーザの第2高調波を用いた。KrFエキシマレーザの照射エネルギー密度を200mJ/cm<sup>2</sup>に固定して、遅延時間25nsecでNd:YAGレーザの第2高調波を照射した結果を図6に示す。図において、横軸はNd:YAGレーザの第2高調波の照射エネルギー密度(YAG2 $\omega$  energy density)で、縦軸は平均結晶粒径(Grain size)である。KrFエキシマレーザのみによる熱処理により形成された多結晶珪素膜の平均結晶粒径は~100nmであった。しかし、Nd:YAGレーザの第2高調波を重畠照射して得られた多結晶珪素膜の平均結晶粒径は最大で1.2μm程度である。MOSトランジスタの能動層中のキャリアの移動は個々の結晶粒界における欠陥により阻害されるので、MOSトランジスタの移動度を向上させるには結晶粒径を大きくすることが必須である。本発明のレーザ熱処理方法による、結晶粒径の増大が実証された。

【0032】実施の形態4. 実施の形態4では、本発明のレーザ熱処理方法により、非晶質珪素膜より形成した多結晶珪素膜を用いて作製したMOSトランジスタについて述べる。特性の評価についてはMOSトランジスタの代表的なパラメータである移動度(Mobility)を用いて行う。第1のパルスレーザ光源としてはKrFエキシマレーザを、第2のパルスレーザ光源としてはNd:YAGレーザの第2高調波(2 $\omega$ )を用いた。先ず、比較のためにKrFエキシマレーザのみで熱処理を行って形成した多結晶珪素膜を用いて作製したMOSトランジスタのnチャネル移動度の照射エネルギー密度(fluence)依存性を図7に示す。図から明らかのように最高でも移動度は60cm<sup>2</sup>/Vs程度しかない。次に、KrFエキシマレーザの照射エネルギー密度を240mJ/cm<sup>2</sup>に固定して、様々な照射エネルギー密度のNd:YAGレーザの第2高調波(2 $\omega$ )を重畠照射した。その際、遅延時間は25nsec, 50nsec, 100nsecの3種類を設定した。こうして形成された多結晶珪素膜を用いて作製されたMOSトランジスタのnチャネル移動度を、各々の遅延時間に関してそれぞれ図8(a)、(b)、(c)に示す。これらの本発明に関する実験結果より、照射エネルギー密度240mJ/cm<sup>2</sup>のKrFエキシマレーザのみでの熱処理では移動度は30cm<sup>2</sup>/Vs程度であるが、Nd:YAGレーザの第2高調波を重畠照射することにより、4倍の値である120cm<sup>2</sup>/Vs程度が達成されることがわかった。

【0033】実施の形態5. 実施の形態5では、第1の

パルスレーザ光源としてはKrFエキシマレーザを、第2のパルスレーザ光源としてはNd:YAGレーザの第2高調波を用いた場合の、MOSトランジスタのnチャネル移動度に対する、KrFエキシマレーザの照射エネルギー密度の依存性について述べる。図9はKrFエキシマレーザ単独(図中EXLで示される線)の場合と、第1のレーザとしてKrFエキシマレーザを、第2のレーザとしてNd:YAGレーザの第2高調波を用いた場合(図中EXL+YAG2 $\omega$ で示される線)のエキシマレーザの照射エネルギー密度に対する移動度の関係を示す実験値である。この図でわかるように、エキシマレーザとNd:YAGレーザを用いた場合、エキシマレーザ単独で得られる移動度よりも大きい移動度が得られ、しかもエキシマレーザ単独の場合は高移動度が得られるエキシマレーザの照射エネルギー密度の範囲が狭いのに比べ、エキシマレーザとNd:YAGレーザを用いた場合はエキシマレーザの照射エネルギー密度の依存性が非常に小さい。すなわち、エキシマレーザとNd:YAGレーザを用いた場合は、エキシマレーザの出力変動による影響をあまり受けないことがわかる。

【0034】実施の形態6. 実施の形態6では、第1のパルスレーザ光の照射エネルギー密度について述べる。第1のパルスレーザ光としては、非晶質珪素膜を溶融して再結晶化が可能な状態にする能力が要求されるが、吸収係数とのかね合いから真空紫外域、紫外域のパルスレーザが適当である。吸収係数は波長が長くなるに従い小さくなるが、紫外域で比較的長い波長のレーザであるXeClエキシマレーザでレーザ熱処理実験を行った場合、照射エネルギー密度が1000mJ/cm<sup>2</sup>以上ではアブレーションが起こり、膜が基板から剥離する。また、照射エネルギー密度の下限の方は、吸収係数の高い紫外域の代表的なレーザであるKrFエキシマレーザを用いたレーザ熱処理実験により、100mJ/cm<sup>2</sup>と規定できた。

【0035】実施の形態7. 実施の形態7では、第2のパルスレーザ光の照射エネルギー密度について述べる。第2のパルスレーザ光は、第1のレーザ光照射により非晶質珪素膜が溶融している液体状態へ照射される。役割としては、再結晶化時間の延長である。再結晶時間の延長の効果があるのは100mJ/cm<sup>2</sup>以上である。また、アブレーションが起らぬ照射エネルギー密度である必要がある。第2のパルスレーザ光として代表的なNd:YAGレーザの第2高調波を用いた場合、1500mJ/cm<sup>2</sup>以上でアブレーションが起こった。したがって、第2のパルスレーザ光の照射エネルギー密度は1500mJ/cm<sup>2</sup>以下100mJ/cm<sup>2</sup>以上が適当である。

【0036】実施の形態8. 実施の形態8では、本発明のレーザ熱処理方法において、2つのレーザ光を照射する他の方法について述べる。図10は実施の形態8によるレーザ熱処理方法を実現するレーザ熱処理装置を示す図である。図において1~10は図1と同様の部材を示す。11はダイクロイックミラーあるいは偏光ビームスプ

リッターであり、第1のパルスレーザ光を透過し、第2のパルスレーザ光を反射して、基板上膜材料に照射する第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光の光軸を一致させるように作用する。すなわち、本実施の形態8の特徴は、基板上膜材料に照射する2つのレーザ光の光軸が同一であることにある。2つのレーザ光をあらかじめダイクロイックミラーもしくは偏光ビームスプリッタ11により重畠しておくために、ターゲット位置での光軸調整が不要になり、レーザ熱処理を容易に行うことが可能となる。

#### 【0037】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のレーザ熱処理方法およびレーザ熱処理装置は、基板上膜材料にレーザ光を吸収させて熱処理するレーザ熱処理方法において、該基板上膜材料に対する吸収係数が異なる、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光をそれぞれ上記基板上膜材料の同一部分に線状に集光して照射するようにしたので、結晶粒径が大きく、高移動度の薄膜トランジスタの作製に適した高品質の薄膜が得られる効果がある。

【0038】また、本発明のレーザ熱処理方法およびレーザ熱処理装置は、上記第1のパルスレーザ光は、紫外域、あるいは真空紫外域のパルスレーザ光とし、上記第2のパルスレーザ光は可視域のパルスレーザ光としたので、確実に結晶粒径が大きく、高移動度の薄膜トランジスタの作製に適した高品質の薄膜が得られる効果がある。

【0039】さらに、本発明のレーザ熱処理方法およびレーザ熱処理装置は、第1のレーザ光として、エキシマレーザ( $\text{ArF}$ ,  $\text{KrF}$ ,  $\text{XeCl}$ )、フッ素レーザを用いるもので、安定かつ生産性の高いレーザ熱処理ができるという効果がある。

【0040】さらに、本発明のレーザ熱処理方法およびレーザ熱処理装置は、第2のレーザ光として、 $\text{Nd}$ イオンドープあるいは $\text{Yb}$ イオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒質としたQスイッチ発振固体レーザの高調波を用いるもので、効率の良いレーザ熱処理を行うことができるという効果がある。

【0041】さらに、本発明のレーザ熱処理方法は、第1のパルスレーザ光の照射と第2のパルスレーザ光の照射のタイミングのずれを200nsec以下としたもので、確実に結晶粒径が大きく、高移動度の薄膜トランジスタの作製に適した高品質の薄膜が得られる効果がある。

【0042】さらに、本発明のレーザ熱処理方法は、基板上膜材料として、非晶質または多結晶珪素膜を用いるもので、高移動度の薄膜トランジスタの作製が可能となる。

【0043】さらに、本発明のレーザ熱処理方法は、非晶質または多結晶珪素膜の表面における第1のレーザ光の照射エネルギー密度を1000mJ/cm<sup>2</sup>以下100mJ/cm<sup>2</sup>以上

としたもので、質の高いレーザ熱処理が可能となる。

【0044】さらに、本発明のレーザ熱処理方法は、非晶質または多結晶珪素膜の表面における第2のレーザ光の照射エネルギー密度を1500mJ/cm<sup>2</sup>以下100mJ/cm<sup>2</sup>以上としたもので、結晶性に優れた薄膜の形成が可能となる。

【0045】さらに、本発明のレーザ熱処理装置は、レーザ光照射時における第1のレーザ光と第2のレーザ光の光軸を一致させて照射するため、ターゲット位置における光軸調整が不要となる効果がある。

【0046】さらに、本発明のレーザ熱処理装置は、レーザ光照射時における第1のレーザ光と第2のレーザ光の光軸が異なる、すなわち、2つのレーザ光を任意の方向より照射してよいため、レーザ発振器の設置位置を自由にでき、装置設計及び生産が容易になる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態1を示すレーザ熱処理装置を示す概観図である。

【図2】2本のレーザ光による照射面積の相対位置を表す図である。

【図3】この発明の実施の形態2を説明するための、レーザ光照射時の熱伝導シミュレーションの計算モデルを説明する図である。

【図4】この発明の実施の形態2を説明するための、 $\text{KrF}$ エキシマレーザ照射による珪素膜表面温度の経時変化のシミュレーション結果を示す図である。

【図5】この発明の実施の形態2を説明するための、 $\text{KrF}$ エキシマレーザ照射と同時に、50nsec後、100nsec後に $\text{Nd:YAG}$ レーザ第2高調波を照射した場合の珪素膜表面温度経時変化のシミュレーション結果を示す図である。

【図6】この発明の実施の形態3を説明するための、レーザ熱処理方法により得られた多結晶珪素膜の平均粒径を示す図である。

【図7】この発明の実施の形態4を説明するための、 $\text{KrF}$ エキシマレーザのみによるレーザ熱処理で得られた多結晶珪素膜を用いて作製されたMOSトランジスタのnチャネル移動度を示す図である。

【図8】この発明の実施の形態4を説明するための、レーザ熱処理方法において遅延時間を25nsec s、50nsec c、100nsecとして得られた多結晶珪素膜を用いて作製されたMOSトランジスタのnチャネル移動度を示す図である。

【図9】この発明の実施の形態5を説明するための、 $\text{KrF}$ エキシマレーザの照射エネルギー密度の依存性を説明する図である。

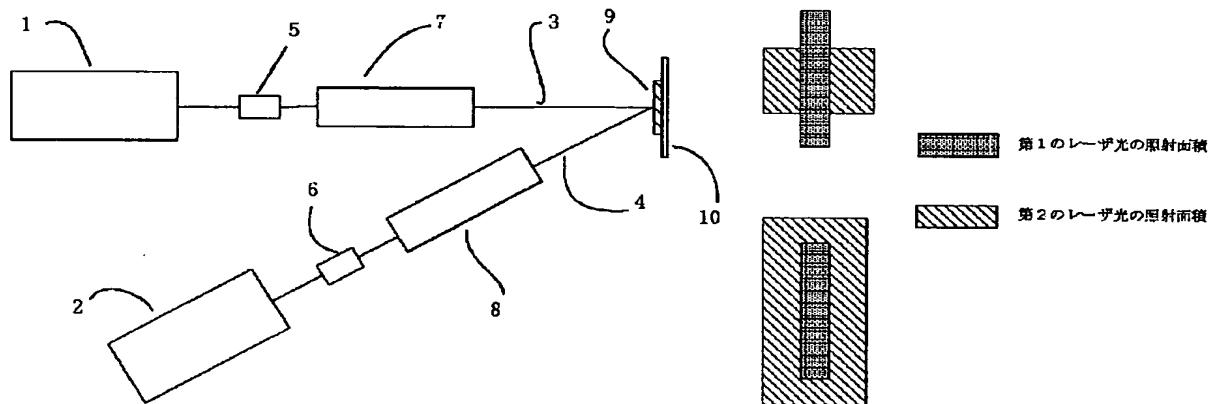
【図10】この発明の実施の形態8を示すレーザ熱処理装置を示す概観図である。

【図11】従来のレーザ熱処理装置を示す概観図である。

#### 【符号の説明】

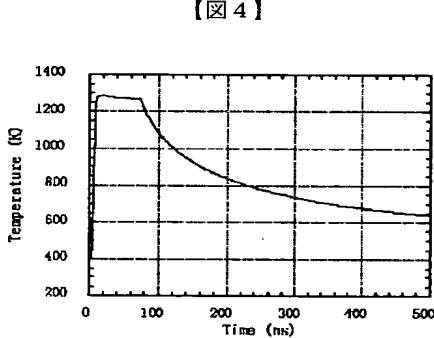
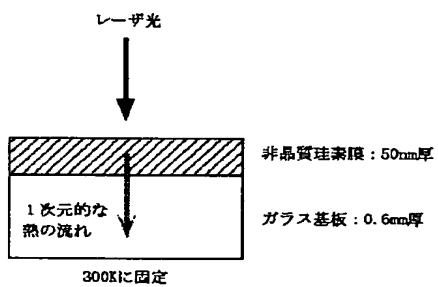
- 1 第1のパルスレーザ光源  
 2 第2のパルスレーザ光源  
 3 第1のパルスレーザ光  
 4 第2のパルスレーザ光  
 9 基板上膜材料

【図1】



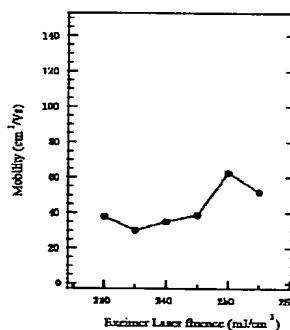
【図2】

【図3】

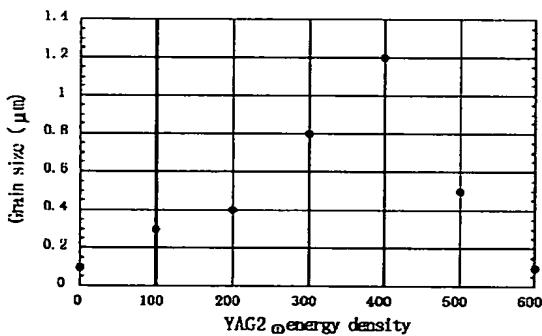


【図4】

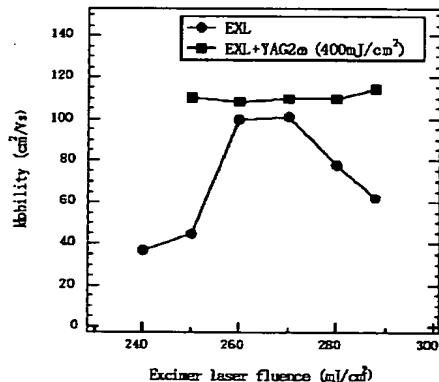
【図7】



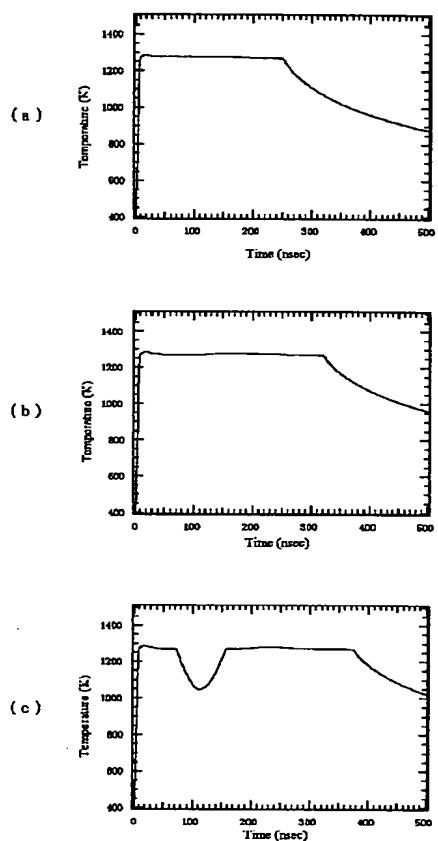
【図6】



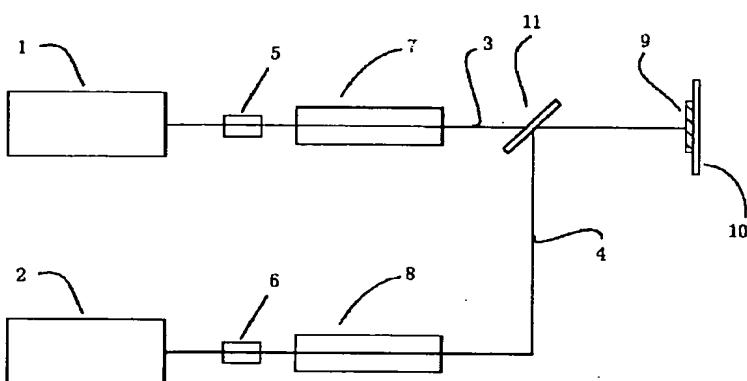
【図9】



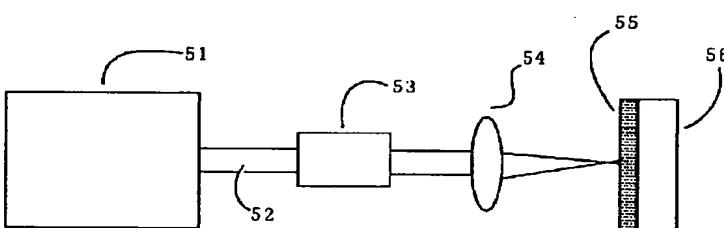
【図 5】



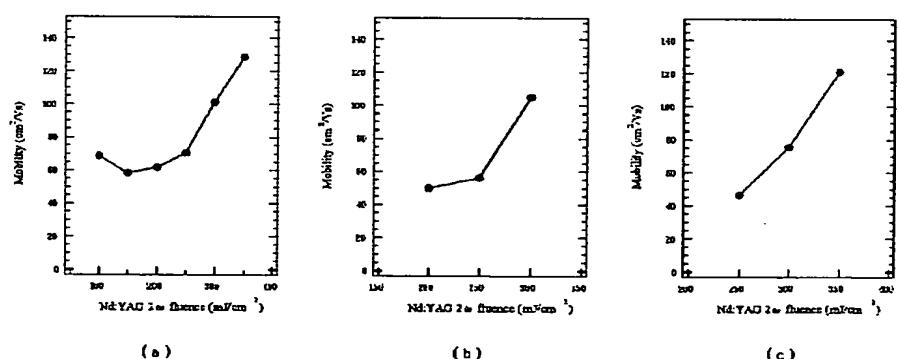
【図 10】



【図 11】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 時岡 秀忠

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72)発明者 佐藤 行雄

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72)発明者 井上 満夫  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72)発明者 笹川 智広  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72)発明者 宮坂 光敏  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ  
一エプソン株式会社内

Fターム(参考) 5F052 AA02 BA07 BA11 BA15 BB02  
BB03 BB07 DA01 DA02 JA01